

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

**Možnosti snížení emisí v letecké dopravě  
v důsledku zavedení přímých tratí v rámci  
FIR**

Possibilities of Aviation Emissions Reduction  
due to the Introduction of the FIR Free-  
Route Concept

Student:

Pavel Kulháněk

Vedoucí práce:

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.

Ostrava 2020





VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Pavel Kulháněk**

Studijní program:

B3712 Technologie letecké dopravy

Studijní obor:

3708R037 Technologie provozu letecké techniky

Téma:

**Možnosti snížení emisí v letecké dopravě v důsledku zavedení přímých  
trát v rámci FIR**

**Possibilities of Aviation Emissions Reduction due to the Introduction of  
the FIR Free-Route Concept**

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

**Cíl práce:**

Analýza možností snížení emisí dopravních letadel pomocí konceptu free-route zaváděného ve vzdušných prostorech evropských států (FIR).

**Osnova práce:**

1. Úvod - motivace k řešení.
2. Analýza současného a predikovaného podílu letecké dopravy na produkci nežádoucích emisí do ovzduší.
3. Koncept zavádění přímých (free-route) tratí v evropském vzdušném prostoru.
4. Vývoj v oblasti leteckých proudových motorů z pohledu produkce emisí.
5. Naplňování letu mezi definovanými letišti vzdálenými min. 2000 km s a bez využití přímých tratí a výpočet předpokládaných emisí v obou případech.
6. Možnosti snížení emisí dopravních letadel pomocí konceptu free-route zaváděného ve vzdušných prostorech některých evropských států (FIR).
7. Závěr.

**Seznam doporučené odborné literatury:**

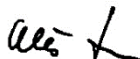
ŽIHLA, Zdeněk. Letecká doprava I. V Praze: Vysoká škola obchodní, 2007. ISBN 978-80-86841-04-5.  
BÍNA, Ladislav, David ŠOUREK a Zdeněk ŽIHLA. Letecká doprava II. V Praze: Vysoká škola obchodní, 2007. ISBN 978-80-86841-07-6.  
GOODMAN, Jon C. Aviation and the environment. New York: Nova Science Publishers, c2009. ISBN 9781606923207.  
Aviation and the environment: emmissions [sic] : hearing before the Subcommittee on Aviation of the Committee on Transportation and Infrastructure, House of Representatives, One Hundred Tenth Congress, second session, May 6, 2008. Washington, U.S. G.P.O., 2008. ISBN 0160834899.  
Ostatní veřejně dostupné zdroje.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



prof. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. května 2020.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'P. Kulháněk', written over a horizontal dotted line.

Pavel Kulháněk

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020.



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Pavel Kulháněk

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Okounov 108, Okounov, Klášterec nad Ohří  
431 51

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KULHÁNEK, P. *Možnosti snížení emisí v letecké dopravě v důsledku zavedení přímých tratí v rámci FIR*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2020, 45 s. Vedoucí práce: Smrž V.

Tato bakalářská práce se zabývá snížením emisí v letecké dopravě s využitím konceptu Free-Route. Součástí této práce je analýza současného a predikovaného podílu letecké dopravy na produkci nežádoucích emisí do ovzduší společně s vysvětlením konceptu přímých tratí (free-route) v rámci evropského vzdušného prostoru. Dále pojednává o vývoji v oblasti leteckých proudových motorů z pohledu produkce emisí. Důležitou součástí je plán letu mezi definovanými letišti vzdálenými minimálně 2000 km s a bez využití přímých tratí a výpočet předpokládaných emisí. Nedílnou součástí je také finální porovnání výpočtů a celkový popis výhod FRA konceptu v evropských vzdušných prostorech.

Anotace v angličtině

KULHÁNEK, P. *Possibilities of Aviation Emissions Reduction due to the Introduction of the FIR Free-Route*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport 2020, 45 p. Thesis head: Smrž V.

This bachelor thesis deals with the reduction of emissions in air transport using the concept of Free-Route. Part of this work is an analysis of the current and predicted share of aviation in the production of unwanted emissions into the air, together with an explanation of the concept of direct routes within the European airspace. It also discusses developments in the field of aircraft jet engines in terms of emissions production. An important part is the flight plan between the defined airports at least 2000 km away with and without the use of direct routes and the calculation of expected emissions. An integral part is also the final comparison of calculations and a general description of the benefits of the FRA concept in European airspace.

Klíčová slova v češtině:

Free-Route koncept, redukce emisí, emise proudových letounů

Klíčová slova v angličtině:

Free-Route Concept, Aircraft Pollution, emissions, jet planes pollution, emissions reduction



## Seznam použitých zkratk

ZKRATKA	ANGLICKÝ VÝRAZ	ČESKÝ VÝRAZ
AIP	Aeronautical Information Publication	Letecká informační příručka
ALTN	Alternate ( <i>aerodrome</i> )	Náhradní ( <i>letišťe</i> )
APP	Approach control office or approach control or approach control service	Přibližovací stanoviště řízení nebo řízení přiblížení nebo přibližovací služba řízení
ASAS	Airbone Separation Assurance System	Systém pro detekci a řešení konfliktů
ASM	Airspace management	Uspořádání vzdušného prostoru
ATFM	Air traffic flow management	Uspořádání toku letového provozu
ATIS	Automatic terminal information service	Automatická informační služba koncové řízení oblasti
ATM	Air traffic management	Uspořádání letového provozu
ATS	Air traffic services	Letové povozní služby
CAVOK	Visibility, cloud and present weather better than prescribed values or conditions	Dohlednost, oblačnost a současné počasí lepší, než předepsané hodnoty nebo podmínky
CNS	Communication, navigation And surveillance	Komunikace, navigace a přehled
CO <sub>x</sub>	Carbon oxide	Oxidy uhlíku
EPA	U.S. Enviromental Protection Agency	Agentura pro ochranu životního prostředí
EU	European Union	Evropská unie
FAB	Functionals Airspace block	Funkční vzdušné body
FINRES	Final reserve	Finální rezerva
FIR	Flight information region	Letová informační oblast
FPL	Filed flight plan	Podaný letový plán
H 24	Continuous day and night service	Nepřetržitá denní a noční služba

ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
M	Mach number	Machovo číslo
METAR	Aerodrome routine meteorological report	Pravidelná letištní meteorologická zpráva
MTOW	Maximum take-off weight	Maximální vzletová hmotnost
NO <sub>x</sub>	Nitro oxide	Oxidy dusíku
SID	Standard instrument departure	Standardní přístrojový odlet
STAR	Standard instrument arrival	Standardní přístrojový přílet
TWR	Aerodrome control tower or aerodrome control	Letištní řidiči věž nebo letištní řízení
UTC	Co-ordinated Universal Time	Světový koordinovaný čas

<b>Seznam použitých zkratk</b> .....	<b>9</b>
<b>1 Úvod</b> .....	<b>12</b>
1.1 Cíl práce.....	13
<b>2. Analýza současného a predikovaného podílu letecké dopravy na produkci nežádoucích emisí do ovzduší</b> .....	<b>14</b>
2.1 Přiblížení skladby emisního znečištění.....	14
2.1.1 Obecné členění složek emisí produkovaných letouny .....	14
2.1.2 Chemické hledisko složení emisních složek.....	14
2.1.3 Faktory přispívající k tvorbě emisí .....	15
2.2 Současná situace emisního znečištění ovzduší.....	15
2.2.1 Postupný nárůst emisního znečištění v průběhu let .....	15
2.2.2 Současná situace znečištění ovzduší .....	15
2.2.3 Předpovědi pravděpodobného znečištění v případě žádných změn .....	17
<b>3 Vývoj v oblasti leteckých proudových motorů z pohledu emisí škodlivých látek</b> .....	<b>18</b>
3.1 Historie proudových motorů .....	18
3.1.1 Počátky proudového motoru.....	18
3.1.2. Dvouproudový (turbodmychadlový) motor.....	19
3.2. Současná situace vývoje proudových motorů z hlediska emisí.....	21
3.2.1. Nejnovější metody snížení emisí .....	21
3.2.2. Úprava dvouproudového motoru pro Airbus A320 neo .....	21
3.3. Budoucí plány a návrhy vývoje proudových motorů za účelem snížení emisí .....	21
3.3.1. Budoucí plány a návrhy vývoje proudových motorů .....	21
<b>4 Koncept zavádění přímých tratí (Free-route) v evropském vzdušném prostoru</b> .....	<b>22</b>
4.1. Přímé tratě (FRA) .....	22
4.1.1. Základní informace o FRA konceptu.....	22
4.1.2. Současná situace FRA konceptu v evropském vzdušném prostoru .....	22
4.1.3. Úskalí při zavádění FRA konceptu do evropských zemí .....	23
4.2. Zavádění FRA konceptu v Evropě .....	23
4.2.1. Současná situace v implementaci FRA v rámci evropského vzdušného prostoru ....	23
4.2.2. Zavedení přímých tratí v rámci evropského vzdušného prostoru .....	24
4.3 Návrhy podobné FRA konceptu .....	26
4.3.1. Single European Sky .....	26
4.3.2. Free Flight Airspace.....	27
4.3.3 Flexible use of airspace (FUA).....	28
<b>5 Plánování letu mezi definovanými letišti bez a s využitím FRA konceptu</b> .....	<b>30</b>
5.1 Obecné informace potřebné pro let.....	30

5.1.1	Letoun Airbus A320 neo .....	30
•	Obsah informací.....	30
5.1.2	Let Moskva Šeremet'jevo – Gibraltár s letovými trasami .....	31
5.1.3	Letiště Moskva Šeremet'jevo .....	31
5.1.4	Letiště Gibraltár.....	33
5.2	Plán letu bez využití FRA konceptu .....	37
5.2.1	Předletová fáze plánování letu .....	37
5.2.2	Palivo pro let.....	37
5.2.3	Počasí po trati .....	38
5.3.	Plán letu s FRA konceptem .....	38
<b>6</b>	<b>Možnosti snížení emisí dopravních letadel pomocí FRA konceptu zaváděném ve vzdušných prostorech některých evropských států. ....</b>	<b>39</b>
6.1.	Trat' letu Moskva – Gibraltár bez využití FRA konceptu .....	39
6.1.1	Trat' letu.....	39
6.1.2	Kalkulace paliva a emisí .....	40
6.2	Trat' letu Moskva – Gibraltár dle FRA konceptu .....	40
6.2.1	Trat' letu.....	40
6.3	Vyhodnocení rozdílu mezi lety s využitím a bez využití FRA konceptu.....	42
6.3.1	Vyhodnocení rozdílu v čase letu, spotřebě paliva a množství emisí do atmosféry...42	
6.3.2	Výhody FRA konceptu v rámci prostoru Eurocontrol .....	43
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>47</b>

# 1 Úvod

Tato bakalářská práce se zaměřuje na současnou problematiku znečištění ovzduší produkcí emisí prostřednictvím skleníkových plynů emitovaných motory dopravních letadel. Snaha snížit emisní znečištění je aktuálním tématem nejen pro automobilový průmysl, o kterém se nejčastěji hovoří právě ve spojitosti se znečištěním ovzduší, ale také i pro ostatní odvětví dopravy. Důvodem je, že všechny druhy dopravy prozatím využívají ve velké míře spalovací motory produkující široké spektrum znečišťujících látek.

Navíc pozemní doprava emituje zplodiny hoření především v přízemní vrstvě (dýchací zóně biosféry), proto jsou v tomto případě hlavní „škodlivé látky znečišťující atmosféru“ především CO, SO<sub>x</sub> a NO<sub>x</sub> a uhlovodíky, které jsou toxické nebo rakovinotvorné pro živé organismy. Letecká doprava emituje zplodiny hoření především ve větších výškách, takže v jejím případě je hlavní „škodlivá látka znečišťující atmosféru“ CO<sub>2</sub> jako skleníkový plyn (výše uvedené toxické a rakovinotvorné plyny a aerosoly se v atmosféře většinou transformují). Proto lze říci, že každé byt' jen malé snížení emisí skleníkových plynů je pro letectví velké plus, napřímení letových tras navíc neřeší pouze ekologickou stranu problému, ale také zvyšuje ekonomickou efektivitu tohoto druhu dopravy.

Doprava patří k velkým znečišťovatelům ovzduší v rámci celkového znečištění (co do objemu max. 15% skleníkových plynů), avšak nelze opomenout i vlivy ostatních segmentů, jejichž produkce znečišťujících plynů má také značný dopad na životní prostředí. Největšími znečišťovateli v rámci dopravního segmentu v počtu produkováných emisí na jednu osobu je námořní a letecká doprava. Je tedy nutné pracovat na úpravě jednotlivých odvětví dopravy pro zachování čistšího ovzduší, a to hlavně z důvodu zachování kvality života a ochrany klimatu, nikoliv pro finanční benefit.

Proto tato práce poukazuje na téma regulace emisí v letecké dopravě, které lze řešit několika možnými způsoby, a to například z konstrukčního hlediska (úprava motorového krytu, redukce úhlu náběhu a dalších přípustných konstrukčních variant) a z hlediska zavedení přímých letových cest. V této práci bude poukázáno na řešení snížení emisního znečištění s využitím konceptu free-route Airspace, což je koncept, který v některých regionech postupně nahrazuje systém pevně stanovených letových cest. Dále také otevírá možnosti úspornějších letů v rámci světového vzdušného prostoru.

V této práci je využita pouze ta část systému, která momentálně funguje nad velkou částí střední a západní Evropy. S využitím tohoto systému a s pomocí zadaného parametru,

který mi byl poskytnut společností Airbus, lze zjistit, o kolik kilogramů či dokonce tun emisí CO<sub>2</sub> letoun vyprodukuje méně než při využití systému letových cest.

V dnešní době je koncept Free-route Airspace (dále už jen FRA) již plně v provozu v mnoha státech Evropy, proto do tohoto porovnání emisního znečištění v rámci Evropy bude zahrnuto ještě využití letových cest, které jsou už v některých státech neaktuální. Dále práci provedu naplánování letu v rámci Evropy mezi vybranými destinacemi jak podle původního konceptu pevně stanovených cest, tak podle konceptu FRA, abych mohl poukázat na rozdíly jak v oblasti ekonomiky letu, tak v oblasti emisí skleníkových plynů vztažených k letecké dopravě mezi těmito destinacemi.

## 1.1 Cíl práce

Cílem této práce je analyzovat možnosti snížení emisí dopravních letadel pomocí konceptu FRA postupně zavedeného ve vzdušných prostorech většiny evropských států.

## 2. Analýza současného a predikovaného podílu letecké dopravy na produkci nežádoucích emisí do ovzduší

### 2.1 Přiblížení skladby emisního znečištění

#### 2.1.1 Obecné členění složek emisí produkovaných letouny

Letouny v současné době produkují mimo jiných škodlivých látek ohromné množství plynu  $\text{CO}_2$ , který je největším zástupcem skupiny umělých skleníkových plynů. Kromě plynu  $\text{CO}_2$ , letouny produkují také velké množství oxidů dusíku známých jako  $\text{NO}_x$ , které ve velké míře přispívají k narušení ozónové vrstvy a k produkci dalších skleníkových plynů. Emise těchto oxidů dusíku se pohybují ve větší nadmořské výšce než ostatní skleníkové plyny. Letouny také emitují vodní páru, která ve vysokých nadmořských výškách vytváří kondenzační stopy, což jsou viditelné pásy vodních krystalků, které se vytvářejí v horních vrstvách atmosféry. Vodní krystalky ke globálnímu oteplování nepřispívají, podle vědeckých poznatků naopak snižují intenzitu přicházejícího slunečního záření, takže globální oteplování spíše snižují, z toho důvodu nelze považovat vodní páry za problematický typ emisí. Emise skleníkových plynů v horních vrstvách atmosféry mají větší vliv na zvyšování skleníkového efektu než emise na úrovni země, kde snadněji podléhají rozkladu vzájemnými reakcemi.<sup>[1][8][7][5]</sup>

#### 2.1.2 Chemické hledisko složení emisních složek

Z chemického hlediska emisí lze považovat všechny produkty spalující uhlovodíky za podobné, bez ohledu na to, jaký spalovací motor je produkuje.

Podobně tedy jako automobiloví výrobci musí zajistit, aby jejich vozidla splňovala určité emisní limity, tak i v letecké dopravě je zapotřebí, aby výrobci letounů zajistili dodržení emisních limitů v oblastech CO (oxid uhelnatý), CH (uhlovodíky),  $\text{NO}_x$  (oxidy dusíku) a  $\text{CO}_2$  (oxid uhličitý) a aerosolů. Tyto látky, mají veliký dopad na zdraví člověka, protože některé z těchto látek, především uhlovodíky a foto oxidanty jsou rakovinotvorné a proto je nutné regulovat množství jejich emisí pomocí emisních limitů.<sup>[2]</sup>

### 2.1.3 Faktory přispívající k tvorbě emisí

Tvorba emisí je ovlivněna ve značně míře několika faktory, kterými jsou především aktuální stav motorové jednotky a její vyspělost, nebo použitých palivových směsí. Přičemž vliv konstrukce a aktuální stav motorové jednotky je až šestkrát větší než vliv palivové směsi. Dalším faktorem je letový režim daného leteckého motoru, zda je využit především na krátkou, střední, nebo velkou vzdálenost, což je také ovlivněno konstrukčními prvky použitými na motoru letounu. <sup>[3]</sup>

## 2.2 Současná situace emisního znečištění ovzduší

### 2.2.1 Postupný nárůst emisního znečištění v průběhu let

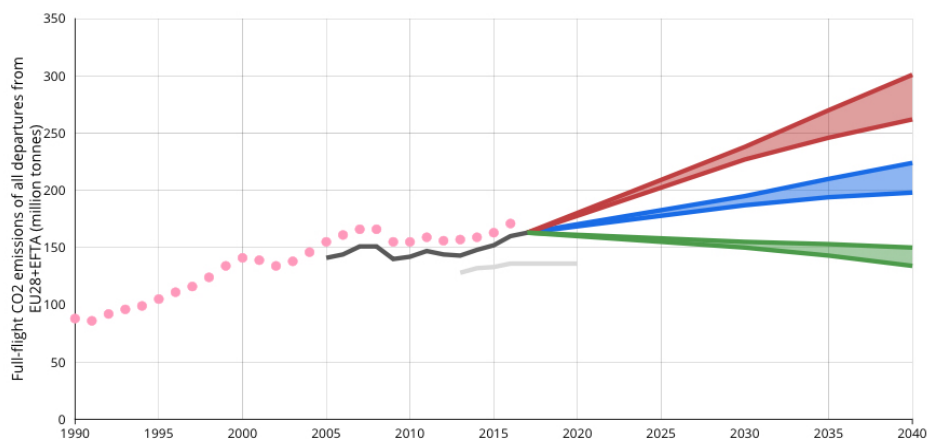
Znečištění ovzduší produkované letouny se dlouhou dobu prakticky ani neřešilo. Několik článků poukazuje na nejistou, avšak pravděpodobnou informaci, která po finálním zprůměrování hodnot hovoří, že před rokem 1914 bylo možno ve vzduchu naměřit hodnoty přítomnosti kyslíku kolem 20,71%; kdežto v dnešní době, kdy k poslednímu důkladnějšímu měření bylo učiněno v roce 2015, je koncentrace kyslíku 20,58% z celkové části složení vzdušného obalu země. Proto se v roce 2010 začala zabývat agentura pro životní prostředí (EPA) tématem znečištění ovzduší prostřednictvím emisí. V roce 2011 bylo určeno agenturou EPA, že každý výrobce letounů musí konkretizovat množství vyprodukovaných emisí pro každý typ letounu, který bude vyroben. Od roku 2014 agentura EPA spolupracuje s ICAO na zpracování maximálních přípustných hodnot v rámci emisí na různé typy letadel. Výsledky jsou však zatím nedostatečné a proto se ICAO snaží ovlivnit snížení emisí jinými způsoby. <sup>[9]</sup>

### 2.2.2 Současná situace znečištění ovzduší

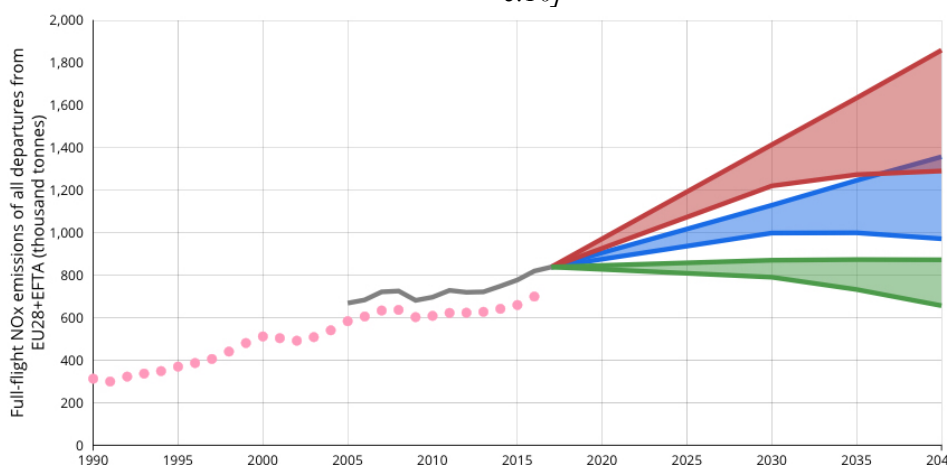
V současné době produkují letouny cca 13% (informace z roku 2015) emisí z celkové produkce dopravy. Podle údajů, které pouze v rámci Evropy členské státy UNFCCC ohlásily, se počet emisí CO<sub>2</sub> zvýšil od roku 1990 do roku 2016 z 88 milionů tun na 171 milionů tun ročně, což je zhruba 150% nárůst. Tento nárůst je graficky znázorněn na obrázku číslo 1, kde lze zpozorovat i budoucí odhady v případě změn, či v případě zachování současného stavu praktikování letecké dopravy. Avšak od roku 2016 do roku 2019 tyto



hodnoty začaly klesat, a to díky úpravám v letových plánech, ale také především díky úpravám konstrukčních prvků na letounech. Průměrná hodnota snížení emisí CO<sub>2</sub> se v současné době odhaduje na 2,8% ročně, méně než by byl předpoklad, který se opírá o vývoj situace dle hodnot naměřených od roku 1990 až 2016.



Obr. č. 1: Grafické znázornění predikce nárůstu emisí CO<sub>2</sub> z roku 2017. [zdroj č.10]



Obr. č. 2: Grafické znázornění predikce nárůstu emisí NO<sub>x</sub> z roku 2017. [zdroj č.10]

Emise NO<sub>x</sub> mají v posledních letech větší vzestupný trend než dříve. Dle současných informací podle Evropské hospodářské komise se zvýšil počet emisí NO<sub>x</sub> od roku 1990 do roku 2016 z 313 tisíc tun na 700 tisíc tun, což je zřejmě způsobeno tím, že proces spalování fosilních paliv, čím je účinnější, tím více klesá poměr nespálených uhlovodíků a CO<sub>2</sub>, ale tím více naopak roste poměr NO<sub>x</sub>. Nárůst emisí obou těchto hlavních emisních činitelů se i přes veškeré snahy dá očekávat, a to hlavně z toho důvodu, že využití letecké dopravy vzrůstá.<sup>[10]</sup>

### 2.2.3 Předpovědi pravděpodobného znečištění v případě žádných změn

Současné předpovědi budoucího vývoje nárůstu emisního znečištění jsou vypočítávány s ohledem na současnou situaci a dosavadní nárůst využití letecké dopravy beze změn. K těmto výpočtům se používá program IMPACT vytvořený pro budoucí předpovědi, podle něhož se, poté co se zadané hodnoty promítnou do výsledných parametrů, vytvoří tabulka. Pokud by tedy tato situace pokračovala i nadále, pak simulační programy předpokládají do roku 2040 nárůst až o 21% ročně, což by znamenalo roční hodnotu mezi 198 - 224 milionů tun vyprodukovaných emisí. Pokud se bude dále rozrůstat počet států, které využívají projekt ročního nákupu povolenek v rámci EU pro obchodování s emisemi (ETS), mohla by se situace zlepšit a to tím způsobem, že celková suma emisí by už v roce 2020 (na konci současného roku) mohla být o 32 Mt menší.

Pro emise  $\text{NO}_x$  se současná situace a její budoucí předpovědi mění v pozitivním smyslu. Ačkoliv nárůst počtu těchto emisí se očekává, jejich velikost už ale nebude procentuálně tak velká, jako je tomu u emisí  $\text{CO}_2$ . Očekává se, že do roku 2040 se počet emisního znečištění oxidy dusíku zvýší na 1 milion tun, což je pouze o 45% více oproti roku 2005, kdežto procento emisí oxidu uhličitého se odhaduje až 80% nárůst i s předpoklady maximálního využití současných systémů pro snížení emisních vlivů oproti roku 2005. <sup>[10][5]</sup>

### 3 Vývoj v oblasti leteckých proudových motorů z pohledu emisí škodlivých látek

#### 3.1 Historie proudových motorů

##### 3.1.1 Počátky proudového motoru

První navrhovaný a následně i konstruovaný proudový motor se objevil po roce 1930, kdy britský pilot a letecký inženýr Frank Whittle pracoval na myšlence tryskového (proudového) pohonu. Avšak v důsledku nedostatku financí se tento motor objevil pouze jen jako ukázka na stojanu, nikdy tedy nebyl součástí letounu. Návrhy Franka Whittla si vypůjčil německý konstruktér Hans von Ohain, který provedl úpravy na motoru, jež vedly k vyvrcholení v roce 1939, kdy první letoun s proudovým motorem vzlétl a byl schopen provozu. Tímto letounem bylo německé letadlo Heinkel He-178. Od té doby se proudové motory staly většími, výkonnějšími a hospodárnějšími.

V roce 1941 jej poprvé vyzkoušeli Britové v několika verzích na letounech Gloster. Američané vyšli z předané dokumentace a ověřili vlastní systém proudového motoru roku 1942 na Lockheedově letounu Shooting Star. Stroj přelétl napříč USA průměrnou rychlostí blížící se 1000 km/h.

Letouny s proudovými motory se začaly ve velké míře využívat zprvu především pro armádní účely a po 2. světové válce také pro přepravu osob.

První proudové motory však byly neefektivní, a to jak ekonomicky tak i z emisního hlediska. Hlavním důvodem byly vysoké vstupní rychlosti plynů při nízké rychlosti letounu, což způsobuje nízkou propulzní účinnost, čehož naopak lze využít při nadzvukové rychlosti, kde tyto motory pracují s vysokou účinností.<sup>[21]</sup>

Motory stavěné po druhé světové válce měly oboustranné radiální kompresory a neregulovatelné výstupní trysky. Nároky na výkon ale rostly, a tak se začal používat axiální kompresor. Jeden stupeň axiálního kompresoru má menší stlačení i účinnost než kompresor radiální. Použitím vícestupňového axiálního kompresoru však dosáhneme vyššího celkového stlačení. Je také možné zkombinovat vícestupňový axiální kompresor s radiálním, zařazeným za ním na společné hřídeli. Dnes se jednoproudový motor používá pro nadzvuková letadla pro velké výšky a rychlosti, tedy zejména pro vojenská. Většinou bývá vybaven přídatným spalováním. Jako palivo se používá kerosin. Dopravní letouny jsou vybaveny dvouproudovými motory.

### 3.1.2. Dvouproudový (turbodmychadlový) motor

Dvouproudové motory byly vynalezeny za účelem větší efektivity, a to z důvodu, že jednoproudové motory byly označovány jako málo až prakticky neúčinné pro podzvukový let.

První koncept dvouproudového motoru byl vytvořen už v začátku věku proudových motorů, letouny však jeho služeb začaly využívat až v polovině 60. let. Hlavním důvodem do té doby byla náročnost na výrobu. V 80. letech byl už dvouproudový motor součástí a prakticky i samozřejmostí nových letounů. Dodnes je tento motor nejvhodnější koncepcí pro letouny, jejichž rychlost dosahuje podzvukových rychlostí až mírně nadzvukových.

Základem dvouproudového motoru je opět generátor plynů. Za generátorem plynů je umístěna turbína, která plynům odebírá část energie, mění ji na mechanickou a přes hřídel pohání nízkotlaký kompresor. Nízkotlaký kompresor stlačuje vzduch, který do něj přichází z vnějšku. Část tohoto stlačeného vzduchu obvykle vstupuje do jádra motoru, kde se účastní spalování, zbývající část jádro obtéká.

Oba proudy pak vystupují z motoru společnou, nebo oddělenou reaktivní tryskou a vyvozují tah. Na vstupu vysokotlaké části motoru se nachází nízkotlaký a vysokotlaký kompresor (s oddělenými souosými rotory), které vzduch stlačí a zvýší tím jeho teplotu pro co nejúčinnější zažehnutí. V této chvíli má již vzduch vhodnou teplotu i tlak, jeho pohyb je však příliš rychlý na to, aby mohl být efektivně zažehnut. Směřuje tedy do tzv. difuzoru, který vzduch zpomalí, ale zachová teplotu.

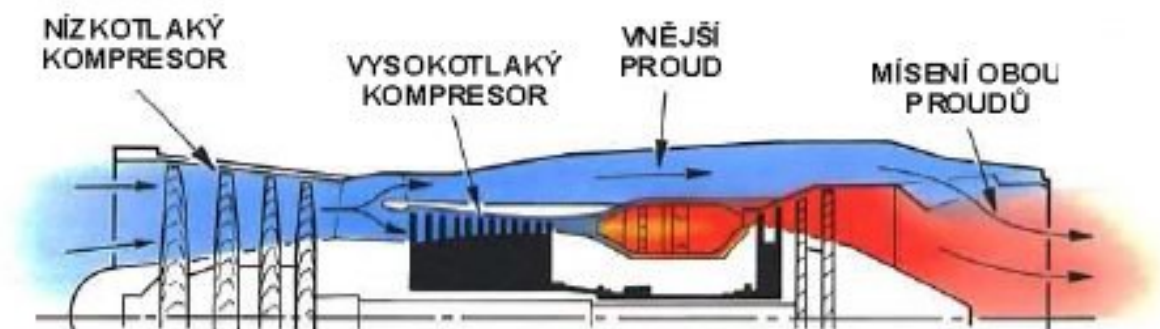
Dvouproudové motory pro nadzvukové rychlosti bývají vybaveny přídavným spalováním. Nízkotlaký kompresor se také, především u vysokých obtokových poměrů a v jednostupňové konfiguraci, označuje jako dmychadlo.

Zvýšení účinnosti proudového motoru bylo docíleno s pomocí přidaných dmychadel, a to axiálních a radialních, dále pak zvětšením objemu vstřikování vstřikovací trysky, zvýšením teploty ve spalovací komoře a úpravě výtokové trysky. Díky těmto úpravám se vzduch do motoru dostane v daleko větší rychlosti a s větším tlakem a vyšší teplotou, kde dále ve spalovací komoře putuje z motoru tryskou značně pomaleji než u jednoproudových motorů.

Tento efekt má za následek menší spotřebu paliva, čímž přináší výhodu jak ekonomickou. Dále také značně zmenší počet produkovaných emisí, a to z důvodu, že tyto

motory jsou určeny pro rozsah rychlostí přibližně od  $M=0,7$ , do  $M=2,0$  až  $2,5$  – v tomto rozmezí pracují efektivněji než jiné typy motorů.

Dvouproudové motory existují v mnoha variantách. Každý z nich se liší jak konstrukcí, tak i parametry. Proto rozlišujeme jednohřídelové, dvouhřídelové a tříhřídelové. Příklad dvouhřídelového proudového motoru uvádím na obrázku číslo 3.



*Obr. č. 3 Dvouproudový, dvouhřídelový motor s nízkým odtokovým poměrem, schéma motorové jednotky s popisem. [zdroj č. 24]*

Výhody těchto motorů lze popsat ve 4 základních skupinách. První je pokles spotřeby paliva, a to hlavně díky většímu množství vzduchu protékajícímu motorem, kdy není třeba využití většího množství paliva. Tento efekt je využit zejména v horních vrstvách troposféry, v tropopauze a v dolní vrstvě stratosféry, kde díky nižší hustotě vzduchu není třeba využití až takového množství paliva pro zvýšení výkonu.

Druhou skupinou výhod jsou větší a efektivnější dmychadla s obrovským průtokem, které taktéž díky dosažení výkonu stovek kN přispívají ke snížení využitého paliva.

Třetí pozitivum spočívá ve smíšení horkých spalnin z jádra a studeného vzduchu z vnějšího proudu, kdy klesá průměrná teplota výstupních plynů.

A čtvrtým pozitivem je fakt, že díky zvýšení průtoku vzduchu a snížení rychlosti výstupních plynů se snižuje i hlučnost letounu. Nevýhodou je samozřejmě větší konstrukční obtížnost a nákladnější jak výroba tak i údržba.

### 3.2. Současná situace vývoje proudových motorů z hlediska emisí

#### 3.2.1. Nejnovější metody snížení emisí

Nejnovější úpravy se aktuálně pohybují v oblasti úpravy motorového krytu, který se snaží konstruktéři navrhovat takovým způsobem, aby neovlivňoval svým tvarem proudění vzduchu okolo letounu a zároveň zajišťoval co největší využití pohlceného vzduchu pro kompresory. Proto se konstruktéři snaží maximálně upravovat jak vstupní ústrojí, tak i “celkové tělo” tohoto krytu.

#### 3.2.2. Úprava dvouproudového motoru pro Airbus A320 neo

S doposud nejekologičtějším dvouproudovým motorem přišla společnost Pratt and Whitney a CFM, který je využit v letounech společnosti Airbus. Tyto letouny mají motory, jejichž produkce emisí klesla, podle informací od společnosti samotné, až o 3% oproti starším typům motorů. Jejich efektivita je způsobena větším dmychadlem, které zvládá pojmout větší množství vzduchu a tím i snižuje využití paliva, čímž se snižuje produkce emisí.

### 3.3. Budoucí plány a návrhy vývoje proudových motorů za účelem snížení emisí

#### 3.3.1. Budoucí plány a návrhy vývoje proudových motorů

V současnosti už pracují týmy výrobců několika předních světových značek leteckých dvouproudových motorů na nových konceptech těchto motorů, jejichž účinnost by měla být ještě větší než současných dvouproudových motorů a měly by výrazně ovlivnit snížení emisí. Tyto projekty a návrhy jsou zatím firemním tajemstvím a i přes veškeré snahy a domluvy s danými společnostmi se mi nepodařilo získat ani částečné náhledy a informace.

## 4 Koncept zavádění přímých tratí (Free-route) v evropském vzdušném prostoru

### 4.1. Přímé tratě (FRA)

#### 4.1.1. Základní informace o FRA konceptu

Prioritní myšlenkou FRA je snaha co možná nejvíce zkrátit délku letu mezi dvěma body, z nichž jeden lze nazvat jako bod výchozí a druhý jako bod koncový. Tento systém využívá vymezený vzdušný prostor, ve kterém umožňuje plánovat a provádět lety přímo bez nutnosti dodržení letových tratí. Ačkoliv ani v prostorech bez FRA konceptu letouny nemusí letět dle letových tratí, a jejich poloha se může nepatrně lišit od určené letové cesty, i přesto FRA koncept systém nabízí něco navíc. Touto možností je se těchto letových cest nedržet prakticky vůbec, lépe to lze popsat příkladem, kdy letoun letící například z letiště LKMT Mošnov Ostrava do cílového letiště EKGG London Gatwick Airport poletí pro něj nejkratší cestou. Let provede přímo bez nutnosti směrování letu podle definovaných letových cest či bodů, což by mohlo znamenat, že v případě celoevropského FRA by ignoroval vstupní body na hranicích jednotlivých FIRů.

#### 4.1.2. Současná situace FRA konceptu v evropském vzdušném prostoru

V současnosti je cílem zavedení FRA v rámci prostoru v působnosti organizace Eurocontrol (evropský vzdušný prostor řízený nad Evropou řídící se pravidly evropské organizace pro řízení letů Eurocontrol) s trvalým provozem. Tato možnost zároveň vytváří velké množství podmínek, které jednotlivé státy budou povinni v rámci využití těchto volných vzdušných tratí zajistit a dodržovat. Tím vzniká další úskalí zavedení tohoto systému, kdy lze předpokládat, že většina států bude jednotlivá opatření zavádět průběžně, aby se zamezilo případným konfliktům a dalším nebezpečným situacím, které by mohly narušit bezpečnost letů ve vymezené oblasti. Proto si můžeme povšimnout, že v průběhu let zavádění těchto volných letových tratí některé státy využily, nebo stále ještě využívají možnosti provozovat FRA v nočních hodinách provozu (jako například část FIR prostorů ve Spolkové republice Německo).

#### 4.1.3. Úskalí při zavádění FRA konceptu do evropských zemí

Největší úskalí v zavádění FRA konceptu spočívá v zajištění přechodu mezi jednotlivými FRA prostory, a sice v situaci, kdy každý ze států by měl svůj vlastní prostor FRA jinak vymezený, kdy bychom museli rozlišit několik způsobů přechodu mezi jednotlivými prostory, a to třemi základními způsoby. V prvním by letoun překročil hranice mezi jednotlivými prostory přes jeden určený přechodový bod, který je na rozhraní mezi těmito prostory, což by pro letoun mohlo znamenat částečnou odchylku od plánované přímé trati. Druhým způsobem je přechodové pásmo, které by bylo přesně definováno mezi prostory dvou FRA, a pro překročení z jednoho do druhého prostoru FRA by letoun musel využít jakéhokoli bodů v rámci tohoto přechodového pásma. Třetím způsobem je ignorování hranic a vytvoření jednoho masivního FRA prostoru v rámci celého evropského vzdušného prostoru, čímž by letoun měl zajištěnou přímou cestu bez jakékoliv nutnosti odchýlit se z plánu své trati, vyjma mimořádných situací.

V případě zavedení FRA jako jednoho celku v rámci evropského kontinentu by se konfliktním bodem stával prakticky každý bod, což by vyžadovalo větší pozornost řídicích letového provozu, případně větší počet řídicích letového provozu, z důvodu zhoršení přehlednosti provozu právě pro řídicí letového provozu. Samozřejmě každý ze států, jenž se pro využívání FRA rozhodne, bude čelit dalším úskalím, které budou specifické pro daný region, a to z jakýchkoliv důvodů.

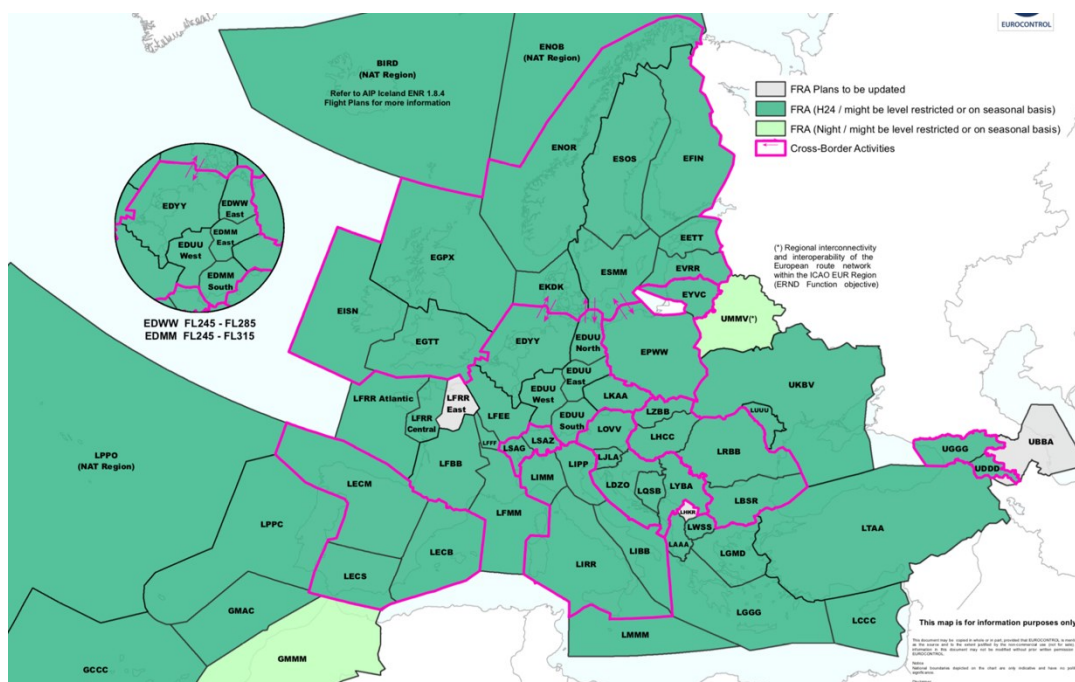
#### 4.2. Zavádění FRA konceptu v Evropě

##### 4.2.1. Současná situace v implementaci FRA v rámci evropského vzdušného prostoru

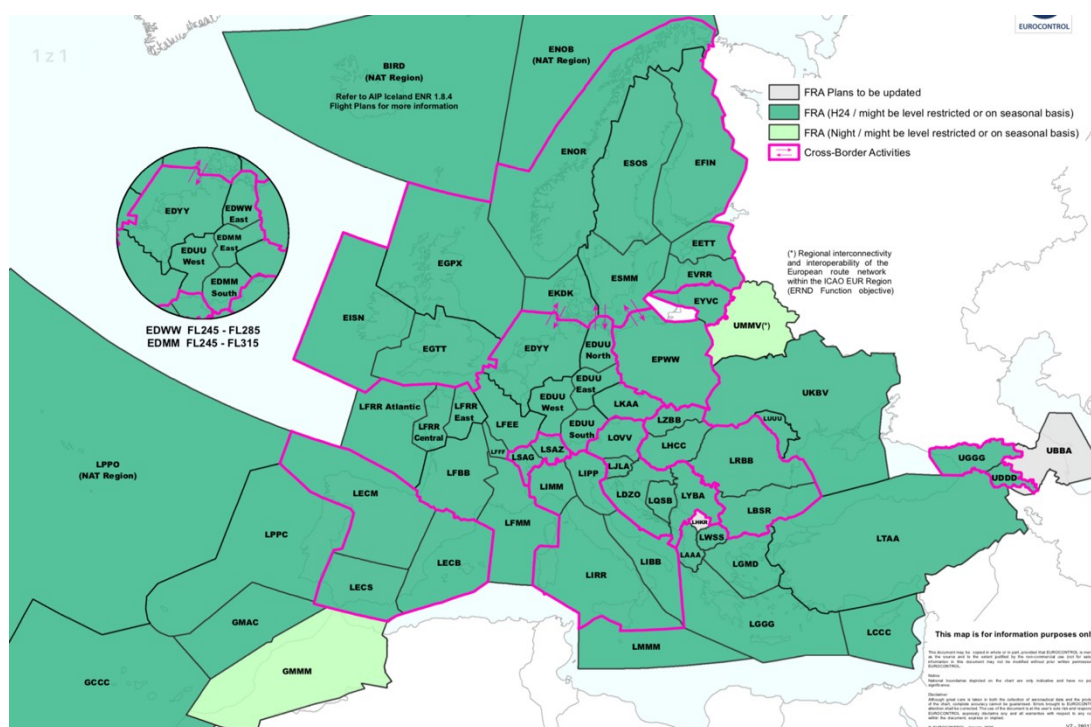
V současnosti využívá FRA vzdušného prostoru v plné míře, tedy v provozu H24, přibližně 27 FIRů, a k tomu dalších pět FIR prostorů využívající FRA pro noční provoz jak lze vidět na obrázku č. 4.







Obr.č. 5: Předpokládaný stav implementace Free-route v evropském vzdušného prostoru ke konci roku 2023 [zdroj č. 7]



Obr.č. 6: Předpokládaný stav implementace Free-route v evropském vzdušného prostoru ke konci roku 2024 [zdroj č.8]

## 4.3 Návrhy podobné FRA konceptu

### 4.3.1. Single European Sky

Projekt Single European Sky, v českém překladu Jednotné evropské nebe, byl spuštěný v roce 2004 v reakci na rostoucí problémy se zpožděním letů v Evropě. V současnosti je jedním z největších projektů v letectví, jehož cílem je umožnit kompletní reorganizaci služeb ATM a vytvoření jednotného horního vzdušného prostoru nad Evropou.

- Projekt Single European Sky definuje tyto hlavní pilíře zájmu:
- Bezpečnost
- Kapacita
- Provozní náklady
- Životní prostředí

Hlavním cílem projektu SES je především poskytnout základní právní rámec potřebný k vytvoření jednotného evropského vzdušného prostoru s cílem zabezpečit budoucí nároky na kapacitu a bezpečnost v Evropě. V roce 2004 byl vydán soubor 4 nařízení označovaný jako SES I package, který obsahoval tato nařízení:

- SES Framework Regulation obsahující základní principy a organizační rámec pro vytvoření SES (členské státy musí vytvořit Národní dozorující úřad (National Supervisory Authority)),
- Air Navigation Services Regulation obsahuje principy pro stanovení poplatků za poskytované služby, navrhuje společný systém certifikace pro poskytovatele leteckých provozních služeb
- Airspace Regulation definuje požadavky pro vznik funkčních bloků, tzv. FAB (Functional airspace block),
- Interoperability Regulation pro zajištění budoucí interoperability jsou definovány
- požadavky na systémy a procedury.

V průběhu zavádění výše zmíněných opatření se objevilo několik problémů a bylo jasné, že členské státy nejsou schopny tak rychle aplikovat vydaná nařízení. Proto byl vydán SES II., který by měl celou tuto problematiku zmapovat, chyby opravit a připravit pro možnost využití SES.

#### 4.3.2. Free Flight Airspace

Nejpokročilejším návrhem struktury vzdušného prostoru z hlediska vyspělosti systému je koncept Free Flight airspace (FFAS), v němž je letadlům umožněn volný pohyb po jimi preferované trati bez ohledu na přeletové body či omezení vydané řízením letového provozu za předpokladu zajištění vlastních rozstupů od okolního provozu. Otázkami okolo free flight konceptu a jeho realizace se zabývalo několik studií již před rokem 2000, J. M. Hoekstra v roce 2001 představil studii realizace free flight konceptu.

Základním předpokladem FFAS je schopnost letadel zajistit a udržet si rozstupy od okolního provozu. To by mělo být v teoretické rovině možné s vývojem v oblasti CNS systémů. Vysoká technologická úroveň systémů by tak umožnila přechod z centralizované na decentralizovanou strukturu řízení letového provozu, ve které je, na rozdíl od centralizovaného systému, zodpovědnost za provedení letu a za dodržení bezpečných rozstupů rozdělena na všechny prvky systému, tedy jednotlivé posádky letadel. Požadovaná úroveň technologické infrastruktury zastřešuje následujících oblastí:

- Datová komunikace
- Navigační výkonnost
- Přehledové palubní systémy
- FMS pro výměnu informací z FPL
- Systém pro detekci a řešení konfliktů (ASAS)

Klíčovým nástrojem pro realizaci free flight (FFAS) jsou především přehledové aplikace pro zobrazení okolního provozu, detekci konfliktů a případně zajištění rozstupů. Systémy CDTI, ASAS, ADS-B a vysoká přesnost satelitní navigace budou základními požadavky, umožňující letadlům bezpečný a volný pohyb v prostoru. Aby byl systém aplikovatelný, je nezbytné stanovení minimálních požadavků na palubní vybavení pro všechna letadla pohybující se v FFAS prostoru, dále operační schopnosti systémů a zajištění jejich vzájemné interoperability tak, aby byla všem letadlům zobrazena stejná provozní informace, a především aby byla zajištěna vzájemná kooperace systémů při řešení konfliktů.

Free flight by tedy mohl, až na pár výjimek, být shodný s FRA konceptem typu tři. Tedy možnost ignorování přechodných bodů při letu v rámci Eurocontrol.

- Úskalí při zavádění konceptu Free Flight Airspace do oblasti Eurocontrol

Hlavní překážkou je v současnosti nedostatečná úroveň technologických systémů, ať už z důvodu přesnosti, spolehlivosti či dostupnosti potřebných služeb. Spousta nejasných a

kontroverzních otázek se dále objevuje v oblasti bezpečnosti, ekonomiky i politické proveditelnosti, proto se možnosti návrhu operačních postupů stanovují velmi obtížně.

V oblasti bezpečnosti je zásadní otázka vlivu lidského faktoru, jelikož zodpovědnost za dodržování rozstupů zvýší pracovní vytížení pilotů. Především v oblastech hustého provozu může jít až o několikanásobně větší zátěž. Druhou kontroverzní otázkou je, zda prostředí řízení letového provozu může fungovat bez centrálního řídicího střediska. Množství konfliktů a způsoby jejich řešení budou v dynamicky se měnícím prostředí klást důraz na zpracování všech informací v reálném čase. Otázkou zůstává, zda několika nezávislými individuálními řešeními lze vyřešit celkovou komplexní situaci, a dále jestli výsledkem několika na sebe navazujících rozhodnutí nemůže dojít k patové situaci.

Bezpečnost v letovém provozu je dále z podstatné části ovlivněna úrovní a spolehlivostí technického zabezpečení. Dnešní úroveň technologií stále obsahuje spoustu mezer a nedostatků, které brání provedení free flight v praktické rovině.

#### 4.3.3 Flexible use of airspace (FUA)

Pro zvýšení flexibility a maximalizaci využití vzdušného prostoru pro všechny složky Evropská komise v roce 2005 přijala nařízení 2150/2005, které ustanovilo společná pravidla pro flexibilní využívání vzdušného prostoru. FUA (Flexible Use of Airspace) je koncept, podle něž:

- Vzdušný prostor není určený jako čistě civilní nebo vojenský, ale je uživatelům přidělován na základě jejich žádosti.
- Jakékoliv rozdělení vzdušného prostoru je dočasné, založené na reálném využití na dobu určitou.
- Přilehlé vzdušné prostory nejsou limitovány státními hranicemi.

Koncept FUA byl uveden s cílem navýšení kapacity a propustnosti, posílení civilně-vojenské

koordinace, efektivnějším využití vzdušného prostoru. Koncept FUA je postaven na následujících pravidlech:

- Koordinace mezi civilní a vojenskou složkou by měla probíhat na třech úrovních - strategické, před-taktické a taktické úrovni.
- Spolupráce mezi složkami ASM, ATFM, ATS by měla probíhat na všech třech úrovních.
- Aktivace prostorů by měla být pouze dočasnou záležitostí využívaná pouze po

nezbytně nutnou dobu a s ohledem na aktuální provozní situaci.

- Koncept FUA by měl být aplikován i přes státní hranice/přes hranice FIR.

## 5 Plánování letu mezi definovanými letišti bez a s využitím FRA konceptu

### 5.1 Obecné informace potřebné pro let

#### 5.1.1 Letoun Airbus A320 neo

- Obecné informace

Letoun A320 neo je dvouproudový úzkotrupý dopravní letoun společnosti Airbus. Model neo je nejnovějším modelem typu A320, jenž byl konstruován za účelem snížit produkci emisí, a to až o 10-20% méně než jeho předchůdce. Patří do skupiny letounů A320 family, kde lze naléznout typy letounů jako je A319, A320 a A321. Vyrábí se ve dvou provedeních, a to A320-100 nebo A320-200. Produkce modelu A320 neo začala v roce 2014 a pokračuje až do současnosti. Vývoj na letounu A320 neo byl zahájen už v roce 2010. Tento letoun slaví u většiny leteckých společností úspěch a to je důvodem proč počty jeho objednávek v únoru roku 2020 byly jedny z největších za existenci A320 family. Právě pro A320 neo bylo těchto objednávek nejvíce. Hlavním konkurentem letounu A320 neo je Boeing 737-Max (ten však má v současné době vážný problém se systémem řízení a nemůže létat).

#### Základní parametry

Letoun dosahuje celkové délky 37,57 metrů s rozpětím křídel 35,80 metrů a výškou 11,76 metrů. Maximální vzletová hmotnost (MTOW) letounu je 79 tun, z čehož operační prázdná hmotnost činí 44,3 tun. Maximální užitečné zatížení činí 20 tun. Kapacita paliva letounu činí 32 940 litrů, tedy 8 700 galonů. Letouny jsou vybaveny dvěma typy motoru, a to buď CFM International LEAP-1A, nebo Pratt & Whitney PW1100G. Oba tyto motory se vyznačují obrovským průměrem dmyhadla, pro PW1100G je průměrem 206 centimetrů a pro LEAP-1A 198 centimetrů, což zajišťuje lepší a větší přívod vzduchu do motoru. Dosahují maximálního tahu motoru až 120 kN. Letoun A320 neo dosahuje maximální rychlosti až 0,82 Mach, tedy 1 005 km/h, avšak pro běžné využití používá cestovní rychlost 0,78 Mach, tedy 956 km/h. Jeho maximální dostup činí od 11 900 – 12 100 m, kdy je tento faktor ovlivněn hodnotou tlaku na daném místě. Letoun má dolet až 6 500 km, tedy 3 500 námořních mil, proto je ideální pro let na středně dlouhé trasy, lze ho využít i na dlouhé trasy. Potřebná délka pro vzlet činí 1 951 m.

### 5.1.2 Let Moskva Šeremet'jevo – Gíblartar s letovými trasami

Tento let je naplánován s použitím letových tras a s využitím aktuálních informací. Let je naplánován z hlavního města Ruské federace, tedy z Moskvy do samostatného městského státu Gíblartar, jenž je britskou kolonií. Počasí po celou dobu tohoto letu se řídí předpovědí počasí pro den 24. března 2020.

Veškeré informace o počasí budou vyčteny z METARU daných zemí, tyto údaje budou ještě využity při plánování letu bez letových tras.

### 5.1.3 Letiště Moskva Šeremet'jevo

- Obecné informace

Letiště vzniklo jako vojenské letiště a v roce 1959 bylo otevřeno pro civilní provoz. Roku 1980 k Letním olympijským hrám v Moskvě byl otevřen druhý terminál (Šeremet'jevo II.) jižně od obou přistávacích drah. Před rokem 2010 nebyly terminály a zařízení v dobrém stavu, takže řada leteckých společností přesunula své lety na letiště Moskva-Domodědovo, které se přechodně stalo druhým největším moskevským letištěm.

Mezinárodní letiště Šeremet'jevo má dvě souběžné betonové přistávací dráhy o délce 3700 a 3550 m. Po rekonstrukci má šest terminálů, přičemž terminály A, B a C, ležící severně od přistávacích drah, slouží hlavně domácí dopravě, kdežto terminály D, E a F na jižní straně (dříve Šeremet'jevo II.) obsluhují mezinárodní lety. Mezi oběma jezdí kyvadlový podzemní monorail. Spojení s centrem Moskvy zajišťují vlaky.

- Informace potřebné k provedení letu Moskva Šeremet'jevo – Gíblartar

- Informace z AIP pro Letiště Moskva Šeremet'jevo

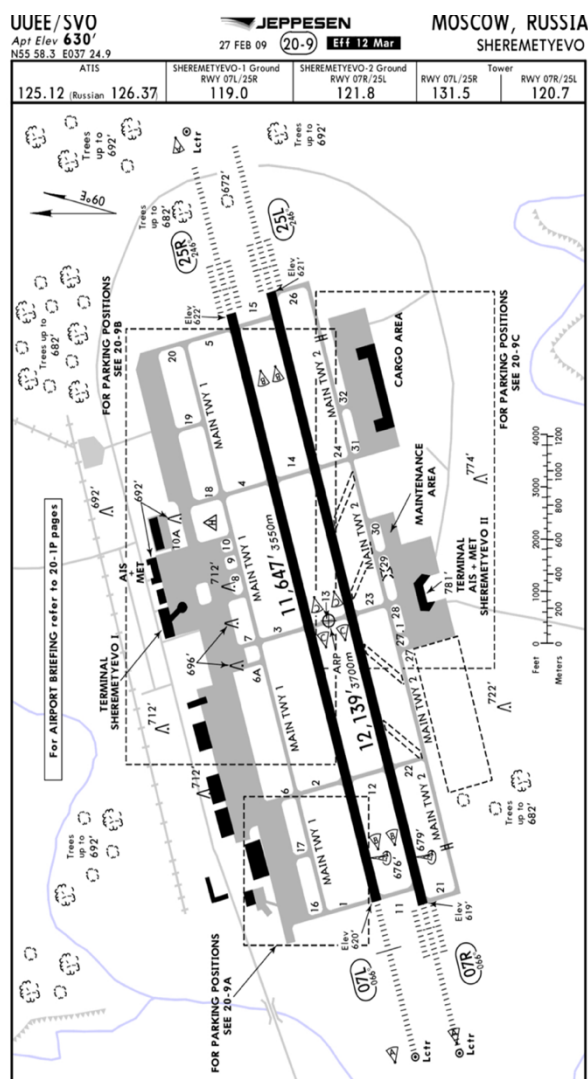
V ruském AIPu jsem vyhledám informace důležité pro let. Začnu tedy informacemi o maximální přípustné váze letounu pro jejich runway, ale jelikož vím, že na tomto letišti smí přistávat i Airbus A380, proto přípustnou hmotnost pro letou A320 neo řešit nemusím. Dále se zajímám o délky dráh a jejich směry, které jsou v případě moskevského letiště orientované 07R/25 pro pravou stranu s délkou 3550 metrů a šířkou 60 metrů a pro levou stranu 07L/25 s délkou dráhy 3700 metrů a šířkou dráhy 60 metrů. Dráha má pevný betonový



povrch. Komunikaci si zajistím na frekvenci 125.125 pro ATIS, 119.000 pro GROUND, 120.700 pro TOWER a 118.100 pro RADAR. V rámci tohoto letiště si smím vyžádat službu follow-me. Zároveň si v AIPu naleznu mapu SID pro odlety z moskevského letiště, kde budu hledat odletovou trasu nejvhodnější pro zvolený let.

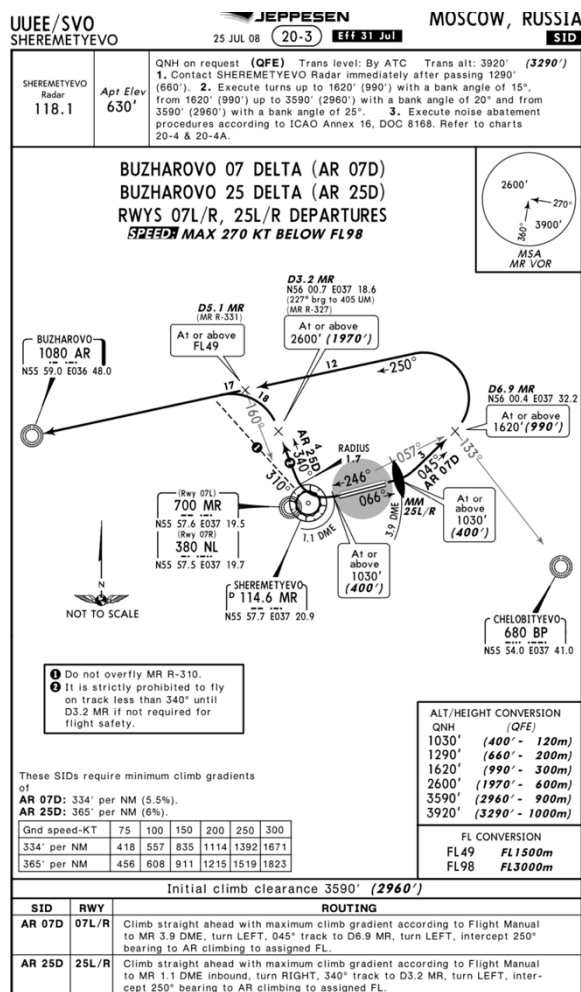
- Mapy Letiště Moskva Šeremet'jevo potřebné pro naplánování letu

Pro popojíždění a pozdější vzlet bude třeba se řídit dle nařízení řídících daného letiště, avšak pro lepší přehlednost bude třeba mít k dispozici mapu letiště. Jak lze vidět na obrázku číslo 7.



Obr. č. 7: Mapa letiště Moskva Šeremet'jevo [zdroj č. 9]

Pro odlet z letiště Moskva Šeremet'jevo budu potřebovat mapu SID, kterou lze nalézt v AIPu. Na této mapě si najdu body, po kterých budu ve stoupání do převodní výšky, kde nastavím výškoměr na hodnotu mezinárodní standardní atmosférický tlak 1013,25 hPa.



Obr.č. 8: Mapa SID pro odlet z letiště Moskva Šeremet'jevo [zdroj č. 9]

#### 5.1.4 Letiště Gibraltar

- Obecné informace

Letiště má jedinou vzletovou a přistávací dráhu, kterou kříží Winston Churchill Avenue, hlavní silnice z Gibraltaru do Španělska. Ta musí být uzavřena pokaždé, když nějaké letadlo vzlétá nebo přistává. Dráha letiště Gibraltar 09/27(L/R) je dlouhá 1829 metrů a 46 metrů široká, tudíž je dostatečná pro přistání letounů typu A320 family.

Historie letiště sahá až k roku 1939. Letiště bylo zřízeno během druhé světové války na místě původní závodní dráhy. V roce 1939 bylo otevřeno původně jako nouzové letiště pro Královské námořnictvo, respektive jeho leteckou složku. Později byla vzletová a přistávací dráha prodloužena do Gibaltarské zátoky pomocí kamene vytěženého z Gibaltarské skály při budování vojenských tunelů, což umožnilo přistávání větších letadel.

- Informace potřebné k naplánování letu Moskva Šeremet'jevo – Gibraltar

Veškeré potřebné informace podobně jako u letiště Moskva Šeremet'jevo, tak i v tomto případě vyhledám v AIPu pro Gibraltar.

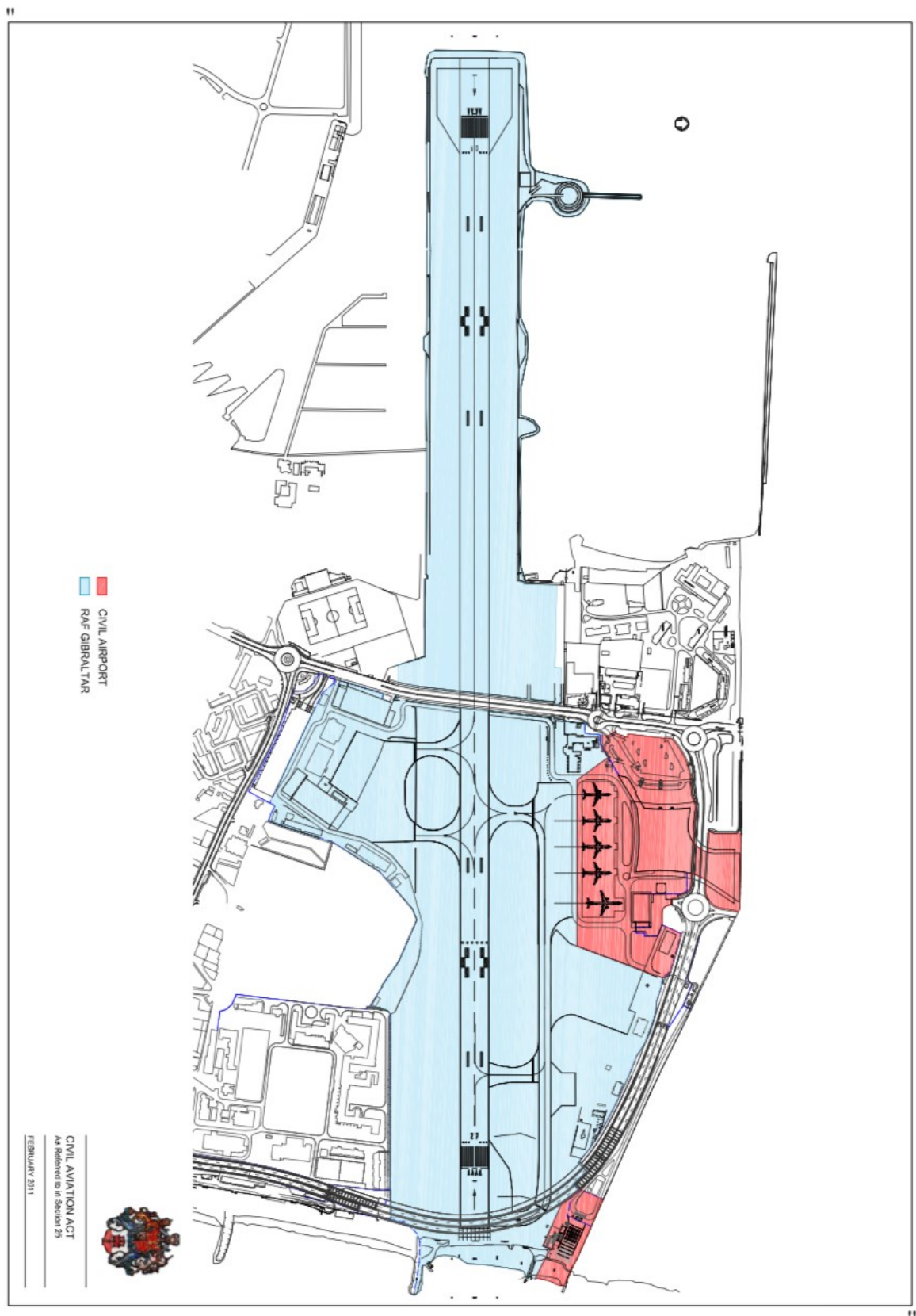
- Informace z AIPu pro letiště Gibraltar

Nalezu si v AIPu nejprve základní informace o letišti, které dále využiji pro plánování letu. V AIPu si vyhledám délku a šířku dráhy, kterou jsem již zmiňoval v odstavcích dříve. Poté si nalezu potřebné informace v rámci spojení rádiem, abych mohl být při přistání schopný nechat se navádět řídicí službou na letišti. Pro přiblížení použiji frekvenci pro APP na frekvenci 264.875, pro radar použiji frekvenci 235.15, a pro TWR 240.575. V rámci letiště Gibraltar není potřeba mít GROUND a to z toho důvodu, že TWR řídí i GROUND.

V případě letiště Gibraltar musíme při přistání věnovat větší pozornost poryvům větru, a to z důvodu přistání “na moři”, neboli na betonovém povrchu, které je zprava i zleva ohraničená mořskou hladinou.

- Mapy Letiště Gibraltar

Pro lepší orientaci na letišti Gibraltar použiji mapu letiště.



Obr.č. 9: Mapa letiště Gibraltar [zdroj č. 10]

AD 2 - LXGB - 1 - 18	GIBRALTAR	UK MIL AIP
31 AUG 06		



36

## 5.2 Plán letu bez využití FRA konceptu

### 5.2.1 Předletová fáze plánování letu

Nejprve vyplním plán daného letu, tedy Moskva Šeremet'jevo – Gibraltar. Pro vystavení tohoto plánu použiji program SimBrief, ve kterém si nakonfiguruji veškeré potřebné informace pro let. Zadáám kódy jednotlivých letišť, program mi poté sám nastaví ALTERNATE neboli alternativní letiště v případě jakéhokoliv problému. Podávám tento let ke dni 24. března 2020, kdy začínám let ve 12 hodin UTC. Tento program využívá informace z METARU daných letišť, což znamená, že veškeré potřebné informace k letu mi vyhodnotí automaticky. Dále zvolíme typ letounu Airbus A320 neo.

### 5.2.2 Palivo pro let

Palivo pro let lze rozdělit do několika skupin, jimiž jsou: trip fuel, CONT fuel 15 min, ALTN, a FINRES. Pro let z Moskvy Šeremet'jevo do Gibraltaru se budeme řídit, co se paliva týče obrázkem číslo 11, kde lze vidět jednotlivé části paliva a také Block Fuel, jež činí 15 728 kg.

----- PLANNED FUEL -----			
FUEL	ARPT	FUEL	TIME
TRIP	GIB	12764	0506
CONT 15 MIN		638	0015
ALTN	AGP	956	0024
FINRES		1170	0030
MINIMUM T/OFF FUEL		15528	0616
EXTRA		0	0000
T/OFF FUEL		15528	0616
TAXI	SVO	200	0020
BLOCK FUEL	SVO	15728	
PIC EXTRA		.....	
TOTAL FUEL		.....	
REASON FOR PIC EXTRA		.....	
-----			

Obr.č.11: Plánované palivo pro let [zdroj č. 11]

### 5.2.3 Počasí po trati

Počasí po trati je v plánu letu, které odpovídá dni 24.3.2020. Příloženým obrázek poukazuje na informace o větru na bodech na začátku letu.

WIND INFORMATION															
CLIMB				T O C				BG				TU			
350	197/033	-60		300	183/023	-51		300	183/023	-51		300	165/024	-51	
310	195/026	-52		280	180/019	-46		280	180/019	-46		280	160/019	-46	
200	188/010	-27		260	177/016	-41		260	177/016	-41		260	157/014	-41	
150	251/010	-15		240	176/015	-36		240	176/015	-36		240	162/011	-36	
100	279/011	-05		220	175/015	-31		220	175/015	-31		220	169/012	-32	
RATIN				VTB				KOSAN				PENAL			
300	136/028	-52		380	153/013	-56		380	141/013	-56		380	141/013	-56	
280	136/025	-47		360	145/020	-58		360	141/020	-57		360	141/020	-57	
260	137/022	-42		340	142/027	-59		340	141/027	-59		340	141/027	-59	
240	142/020	-36		320	137/027	-56		320	133/026	-56		320	133/026	-56	
220	148/020	-32		300	132/027	-52		300	124/026	-52		300	124/026	-52	
TEDRO				MATUS				OSMUS				UGNAL			
380	139/013	-54		380	128/012	-54		380	128/012	-54		380	099/009	-53	
360	133/018	-55		360	123/017	-55		360	123/017	-55		360	095/013	-54	
340	129/023	-56		340	120/022	-56		340	120/022	-56		340	093/017	-55	
320	115/025	-55		320	106/026	-55		320	106/026	-55		320	096/022	-54	
300	104/028	-53		300	096/031	-53		300	096/030	-53		300	097/028	-52	
GORAT				BESOT				BULEP				KATOG			
380	082/010	-53		380	070/011	-54		380	062/012	-54		380	040/012	-53	
360	077/015	-54		360	067/017	-55		360	054/015	-55		360	028/019	-55	
340	074/021	-55		340	066/022	-55		340	050/019	-56		340	023/027	-56	
320	085/024	-54		320	072/023	-54		320	047/021	-54		320	015/031	-53	
300	094/028	-52		300	078/025	-52		300	046/023	-52		300	010/035	-51	
WAR				KUKOP				SOXER				OTPOP			
380	040/012	-53		380	027/013	-54		380	027/013	-54		380	027/013	-54	
360	028/019	-55		360	017/019	-55		360	017/019	-55		360	017/019	-55	
340	023/027	-56		340	011/025	-57		340	012/025	-57		340	012/025	-57	
320	015/031	-53		320	004/027	-54		320	004/027	-54		320	004/027	-54	
300	010/035	-51		300	358/030	-51		300	358/030	-51		300	358/030	-51	
VAMPU				BAXIS				UVIVI				AGALU			
380	024/012	-55		380	024/012	-55		380	025/013	-55		380	024/013	-55	
360	007/016	-56		360	007/016	-56		360	003/016	-56		360	002/017	-56	
340	357/020	-57		340	357/020	-57		340	350/020	-57		340	350/022	-58	
320	351/021	-54		320	351/021	-54		320	336/017	-54		320	340/020	-54	
300	345/022	-51		300	346/022	-51		300	318/015	-51		300	328/018	-51	
IXURO				TOMTI				OKX				ASTEL			
380	029/015	-55		380	039/016	-56		380	039/017	-56		380	039/017	-56	
360	013/019	-56		360	029/021	-57		360	029/021	-57		360	029/021	-57	
340	003/024	-58		340	023/026	-57		340	023/027	-57		340	023/027	-57	
320	356/019	-54		320	014/019	-53		320	014/019	-53		320	014/020	-53	
300	345/015	-50		300	356/013	-50		300	356/013	-50		300	357/013	-50	

Obr. č.12: Počasí v jednotlivých bodech v rámci trati [zdroj č. 11]

### 5.3. Plán letu s FRA konceptem

Tento let není zapotřebí plánovat celý znovu. Nezbytností je především změnit trasu, kterou je nutno upravit dle FRA, a to tak aby vedla přímo podle ortodromy. S tím souvisí i množství paliva pro tento let, jež musí být taktéž přepočítáno na délku trasy. Danou úpravu předám do systému skyvector.com, který umožňuje nasimulovat let, který by byl proveditelný pouze při funkčnosti FRA systému nad celou oblastí řízenou Eurocontrol. Počasí po dobu letu bude stejné jako v plánu letu s letovými cestami.



## 6 Možnosti snížení emisí dopravních letadel pomocí FRA konceptu zaváděném ve vzdušných prostorech některých evropských států.

### 6.1. Trať letu Moskva – Gibraltar bez využití FRA konceptu

#### 6.1.1 Trať letu

Celou tuto trasu i s vyznačenými body lze vidět na obrázku číslo 13. Trať byla vygenerována v programu SimBrief, který bere v potaz veškeré potřebné informace k naplánování letu. Ačkoliv tento zkoumaný let nebude uskutečněn, plán letu byl vytvořen za účelem simulace prostředí pro výpočet.



Obr. č. 13: Mapa plánované tratě z letiště Moskva Šeremetějovo na letiště Gibraltar bez využití FRA konceptu. [zdroj č. 11].



### 6.1.2 Kalkulace paliva a emisí

Pro let jsme dle kapitoly 5.2.2 spotřebovali 12 764 litrů paliva. Toto palivo je složkou trip fuel. Výpočet emisí vyprodukovaných za letu lze spočítat pomocí koeficientu od společnosti Airbus. Airbus A320 produkuje hodnotu 3,125 kilogramů emisí CO<sub>2</sub> na 1 kilogram spáleného paliva. V tomto případě bychom museli počítat s počasím CAVOK, kterého jen těžce dosáhnout na takto dalekém letu. Proto pro stanovené počasí provedeme korekci. Tato korekce je nepodložená a v několika výzkumných pracích, jež se zabývají upřesnění produkce emisí v rámci jednoho letu, se objevuje několik možných řešení. Moje práce vychází z řešení, které bylo upřesněné v ustanovení na sto desátém zasedání dne 6. května 2008. Pro úpravu koeficientů zveřejněných společností se počítá se zaokrouhlením na vyšší setinové číslo koeficientu. Pro Airbus A320 lze tedy počítat s hodnotou 3,13 kilogramů emisí CO<sub>2</sub> na 1 kilogram spotřebovaného paliva.

- Výpočet

Vypočet bude proveden vynásobením počtu paliva pro let s koeficientem 3,13. Tento výpočet provedeme nejprve s trip fuel, a poté pro druhý výpočet použijí trip fuel + cont 15 min. + alternate, jejichž součet vynásobím koeficientem 3,13. Po provedení obou výpočtů jednotlivé výsledky porovnáme a zaokrouhlím jejich hodnotu. První výpočet činí pro tento let přibližnou hodnotu 39 951,32 kilogramů CO<sub>2</sub> vyprodukovaných letounem (bereme v úvahu, že informace budou nepřesné z důvodu počasí).

Druhý výpočet, tedy (trip fuel+cont+altn)\*3,13, činí 44 940,54 kg CO<sub>2</sub> vyprodukovaných letounem. Oba výpočty zavádíme z důvodu mimořádných situací, jež mohou nastat v průběhu letu. Výsledky porovnáme a sjednotíme je do finálního výsledku, jež bude činit průměr těchto dvou výsledků, s nímž budeme pracovat pro budoucí operace. Průměr tedy udělám za pomoci těchto dvou výsledků. Finální výsledek je 42 445,93 kg CO<sub>2</sub> a bude použit pro porovnání s celkovou produkcí emisí při letu bez letových tras.

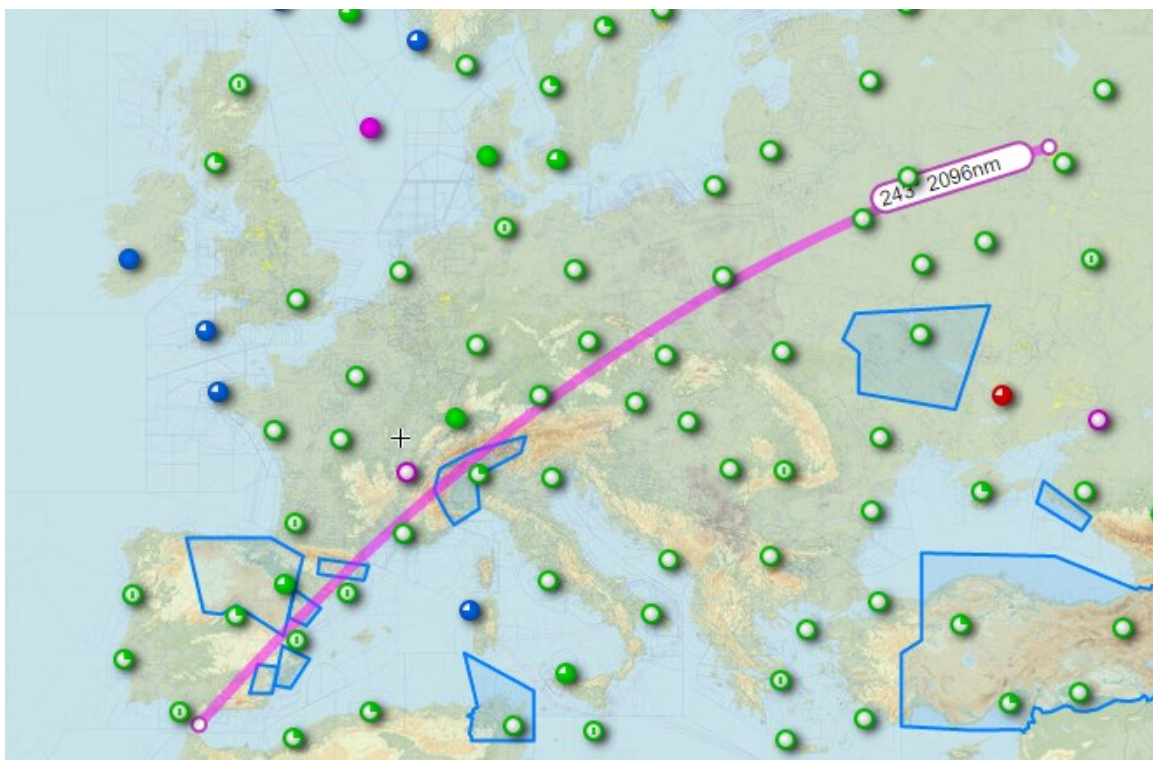
## 6.2 Trať letu Moskva – Gibraltar dle FRA konceptu

### 6.2.1 Trať letu

Jak lze vidět na obrázku č. 14 cesta v leteckém systému FRA zkracuje celkovou cestu letu na 2096 námořních mil. Dle tohoto systému činí trip fuel 10 170 kg, cont fuel 583 kg, altn fuel 895 kg a finress 1056 kg. Tyto údaje přidám do již jednou využitého vzorce.

- Výpočet

Pro první výpočet použiji trip fuel krát hodnota 3,13. Výsledek činí 31 469,02 kilogramů CO<sub>2</sub> vyprodukované tímto letem v případě žádných komplikací v průběhu letu. V případě možných komplikací cestou počítám s palivem trip fuel, cont fuel a altn fuel. Tento součet vynásobím koeficientem 3,13. Výsledek činí 36 095,16 kilogramů CO<sub>2</sub>. Provedu tedy průměrnou hodnotu těchto dvou koeficientů. Průměrná hodnota činí 33 782,09 kg CO<sub>2</sub> pro tento let.



Obr.č. 14: Mapa plánované trati z letiště Moskva Šeremetějovo na letiště Gibraltar s využitím FRA konceptu. [zdroj: 12].

#### 6.2.2 Kalkulace paliva a emisí

Kalkulace emisí letu bez použití FRA konceptu.

Pro výpočet využiji parametry: trip fuel, cont fuel, altn fuel a koeficient 3,13 kg CO<sub>2</sub>/kg paliva.

Postup:

- a) Výpočet hodnoty pro let bez nutnosti vyčkávání, či vypořádání se s mimořádnými událostmi:

Počet kg emisí = (trip fuel\*3,13)

Hodnota činí: 39 951,32 kg CO<sub>2</sub>

- b) Výpočet hodnoty po let s možnými mimořádnými událostmi po směru letu:

Počet kg emisí = [(trip fuel + cont fuel + altn fuel)\*3,13]

Hodnota činí: 44 940,54 kg CO<sub>2</sub>

c) Průměr těchto výpočtů:

Průměrná hodnota = (výsledek 1 + výsledek 2) / 2

Finální hodnota pro let bez využití FRA konceptu činí: 42 445,93 kg CO<sub>2</sub>

Kalkulace emisí letu s využitím FRA konceptu.

Pro výpočet využijí parametry: trip fuel, cont fuel, altn fuel a koeficient 3,13 kg CO<sub>2</sub>/kg paliva.

Postup:

1. Výpočet hodnoty pro let bez nutnosti vyčkávání, či vypořádání se s mimořádnými událostmi:

Počet emisí = (trip fuel \* 3,13)

Hodnota činí: 31 469,02 kg CO<sub>2</sub>

2. Výpočet hodnoty po let s možnými mimořádnými událostmi po směru letu:

Počet kg emisí = [(trip fuel + cont fuel + altn fuel)\*3,13]

Hodnota činí: 36 095,16 kg CO<sub>2</sub>

3. Průměr těchto výpočtů:

Průměrná hodnota = (výsledek 1 + výsledek 2) / 2

Finální hodnota pro let s využitím FRA konceptu činí: 33 782,09 kg CO<sub>2</sub>

### 6.3 Vyhodnocení rozdílu mezi lety s využitím a bez využití FRA konceptu

#### 6.3.1 Vyhodnocení rozdílu v čase letu, spotřebě paliva a množství emisí do atmosféry

Využití systému FRA je, už jen dle tohoto příkladu, velkou úsporou, a to jak v oblasti paliva, tak i v oblasti emisí. Z příkladu si lze povšimnout poklesu produkce emisí. V případě letu s letovými cestami byl průměrný výsledek 42 445,93 kg CO<sub>2</sub>, kdežto při letu dle FRA bylo výsledné množství emisí 33 782,09 kg CO<sub>2</sub>. Rozdíl tedy činí 8 663,84 kilogramů CO<sub>2</sub>. Tedy jen v případě jednosměrného letu z Moskvy do Gibraltaru se snížilo spotřebované palivo o 2 710 kilogramů, což způsobilo úbytek emisí o 8 663,84 kilogramů CO<sub>2</sub>. Pro lepší přiblížení změn několika veličin během letu vypomůže tabulka č. 1.

Změnu lze tedy zpozorovat v několika veličinách letu. Především v délce letu, která se zkrátila o 163 námořních mil. Uletěná vzdálenost tak přímo souvisí s počtem spotřebovaného paliva. Zde lze zaznamenat pokles o 2 170 kg paliva. Tento pokles není finální z důvodu, že let nebude nikdy proveden, proto se hodnoty mohou lišit od skutečných. Se snížením spotřebovaného paliva přímo úměrně klesá i počet emisí. V tabulce si lze povšimnout poklesu o 8 633,84 kilogramů. Kratší trasa ovšem nesouvisí pouze s palivem, ale také s časem. Čas se mění o 37 minut letu, kdy nepočítáme možné zdržení při přistání a vzletu letounu.

**Tabulka č. 1 – Vyhodnocení přínosu FRA konceptu**

Parametry	Čas (H:M)	Spotřebované palivo (kg)	Emise (kg CO <sub>2</sub> )	Délka (NM)
<b>Bez FRA konceptu</b>	5:47	14 358	42 445,93	2 259
<b>S FRA konceptem</b>	5:10	11 648	33 782,09	2 096
<b>Rozdíl celkem</b>	0:37	2 710	8 663,84	163

Přínos FRA konceptu je tedy velice značný, a to nutno poukázat, že výpočet je nadhodnocen, tudíž oproti reálné hodnotě je „zhoršený“. Rozdíl, poukázaný v tabulce nepochází z reálných hodnot. To je důvod proč by se reálný výpočet mohl lišit. Ačkoliv jsou tyto hodnoty nadhodnoceny, je zřejmé, že FRA koncept by dosahoval velkých výsledků.

### 6.3.2 Výhody FRA konceptu v rámci prostoru Eurocontrol

Ačkoliv v současné době klesl počet letů denně v rámci vzdušného prostoru Eurocontrol, a to z důvodu COVID-19, jež částečně pomohl ke snížení emisí, i přesto je ve vzdušném prostoru Eurocontrol velký počet letounů. Z dostupných zdrojů lze vyčíst, že při běžném denním provozu vzlétne v tomto prostoru více než 45 000 letounů a je převezeno více než 2,7 milionů pasažérů. Samozřejmě nelze všechny tyto lety porovnávat s letem, který je v této práci vypracován, a taktéž v používání nejsou pouze letouny typu Airbus A320. Avšak pokud připustíme, že by všechny tyto letouny byly stejného typu a uletěly stejnou vzdálenost, lze vypočítat, že se počet emisí sníží denně cca o 389 milionů kilogramů. Jak již

bylo zmíněno, toto číslo je pouze teoretické a platné pro jeden typ letounů. Lze tedy říci, že rozdíl v produkci emisí denně by se mohl vyšplhat až k 500 000 tun CO<sub>2</sub> denně.

Usuzuji tedy, že díky zavedení FRA konceptu v rámci celého prostoru Eurocontrol, by se mohlo snížit celkové emisní znečištění, z odhadovaného koeficientu 800 milion tun CO<sub>2</sub> ročně (tedy 100%), na počet přibližně 620 milionů tun CO<sub>2</sub> (což je koeficient o 22,81% menší než původní roční hodnota).

V současné době je největší omezení pro zavedení plošného FRA konceptu v rámci prostoru Eurocontrol nutnost dodržování státních hranic (FIRů) jednotlivých států ve vzdušném prostoru, proto s finalizací FRA konceptu nelze počítat v krátké době. Spolupůsobícím problémem v této situaci je neochota a neschopnost domluvy zúčastněných států, a to především kvůli rozdělování finančního výnosu z přeletů jednotlivých zemí.

## 7 Závěr

Jak již bylo nastíněno v úvodu mé práce, cílem bylo zjistit rozdíl produkovaných emisí v rámci dvou podobných letů, jež začínaly a končily ve stejných bodech, a to s a bez využití FRA konceptu. Během plnění daného cíle jsem narazil na několik důležitých faktorů, se kterými jsem v úvodu nepočítal a které ovlivnily mou práci. Jedná se o problémy při zavádění FRA konceptu do zemí podléhajících doзору organizace Eurocontrol. Tyto problémy spočívají především v neschopnosti zúčastněných zemí dohodnout se na termínech a pravidlech jednotného zavedení FRA konceptu v celém vzdušném prostoru, a proto v současnosti nelze využít evropský vzdušný prostor pro lety kopírující ortodromu, která by spojila dvě letiště nejkratším možným způsobem. Nicméně už i koncept FFAS (Free-flight AirSpace) je důkazem snahy docílit této myšlenky. Proto jsem svoji práci dokončil v duchu myšlenky ignorování hranic jednotlivých FIRů a FABů, tedy letem po ortodromě. Tímto způsobem jsem splnil cíl své práce.

Po závěrečném vyhodnocení výsledků v oblasti času, vzdálenosti, spotřebovaného paliva a emisí bylo zjištěno, nakolik může přispět letoun pro střední vzdálenosti k celkovému množství emisí do ovzduší. FRA koncept je aktuálně jedním z hlavních způsobů, jak redukovat příspěvek v množství emisí z letecké dopravy, a pokud by v budoucnu vývoj pokračoval směrem, který je naznačen v této práci, značně by to přispělo ke zmírnění zvyšování skleníkového efektu a tím k devastaci ekosystémů na planetě Zemi.

Je třeba dodat, že zkoumaný příklad je čisté teoretický, finální kalkulace emisí v rámci skutečného letu, by byla zřejmě trochu odlišná.

Pro případné budoucí pokračování v této problematice bych doporučil například provedení přepočtu emisí na osobu v rámci jednotlivých letů, a to hlavně z toho důvodu, aby si každý z nás mohl lépe představit, jakým podílem přispívá ke znečištění ovzduší. Dalším možným směrem by bylo zahrnutí problematiky takzvaných “předplacených emisí”, které již v některých státech v rámci doзору organizace Eurocontrol fungují.

### **Poděkování**

Děkuji panu doc. Ing. Vladimíru Smrži, Ph.D. za věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích i za náročnějších situací. Dále bych chtěl velice poděkovat mým rodičům, Jaroslavovi Kulhánkovi a Olze Kulhánkové, kteří mě po celou dobu podporovali jak fyzicky tak i psychicky, patří jim můj velký dík.

## 8 Literatura

1. ŠIŠKA, František. Ochrana ovzdušia. 1. vyd. Bratislava : Alfa, 1993. 330 s.
2. ŠIŠKA, František a kol. Banské vetranie. 1. vyd. Bratislava : Alfa, 1981. 352 s.
3. TKÁČ, Teodor. Ovzdušie a jeho znečistenie. 1.vyd. Bratislava : SEI-EA, 1996. 333 s.
4. Tesche, M., Achtert, P., Glantz, P. & Noone, K. J. Aviation effects on already-existing cirrus clouds. Nat. Commun. 7, 12016 (2016)
5. Schumann, U. On the effect of emissions from aircraft engines on the state of the atmosphere. Annales Geophysicae 12, 365–384 (1994).
6. Lobo, P., Whitefield, P. D., Hagen, D. E., Herndon, S. C., Jayne, J. T., Wood, E. C., Knighton, W. B., Northway, M. J., Miake-Lye, R. C., Cocker, D., Sawant, A., Agrawal, H., and Miller, J. W, “The Development of Exhaust Speciation Profiles for Commercial Jet Engines”. ARB Contract No. 04-344 Report, California Air Resources Board, October 2007.
7. Benedikt Buchspies, Martin Kaltschmitt. Sustainability Aspects of Biokerosene. 2018,, 325-373. DOI: 10.1007/978-3-662-53065-8\_15.
8. Terjek Berntsen & Ivar S. A. Isaksen (1999) Effects of lightning and convection on changes in tropospheric ozone due to NO<sub>x</sub> emissions from aircraft, Tellus B: Chemical and Physical Meteorology, 51:4, 766-788, DOI: 10.3402/tellusb.v51i4.16484
9. European Commission | Choose your language | Choisir une langue | Wählen Sie eine Sprache [online]. Copyright © [cit. 26.04.2020]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2016\\_eu\\_air\\_transport\\_industry\\_analyses\\_report.pdf](https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2016_eu_air_transport_industry_analyses_report.pdf)
10. [online]. Copyright © [cit. 26.04.2020]. Dostupné z: [https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator\\_v11-2018.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator_v11-2018.pdf)
11. [online]. Dostupné z: <https://www.simbrieff.com/system/briefing.php>
12. SkyVector: Flight Planning / Aeronautical Charts. SkyVector: Flight Planning / Aeronautical Charts [online]. Copyright © 2019 SkyVector [cit. 26.04.2020]. Dostupné z: <https://skyvector.com>
13. EUROCONTROL | Supporting European Aviation | EUROCONTROL. EUROCONTROL | Supporting European Aviation | EUROCONTROL [online]. Copyright © EUROCONTROL [cit. 26.04.2020]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int>



14. EUROCONTROL | Supporting European Aviation | EUROCONTROL [online]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-04/eurocontrol-fra-implementation-end-2020-v7-01042020.pdf> /
15. EUROCONTROL | Supporting European Aviation | EUROCONTROL [online]. Copyright © [cit. 24.04.2020]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-04/eurocontrol-fra-implementation-end-2024-v7-01042020.pdf>
16. EUROCONTROL | Supporting European Aviation | EUROCONTROL [online]. Copyright © [cit. 24.04.2020]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-04/eurocontrol-fra-implementation-end-2023-v7-01042020.pdf>
17. AIP RUSSIA dostupné online: <http://www.caiga.ru/www.caiga.ru?lang=en>
18. AIP GIBRALTAR dostupné online: <https://www.airfieldresearchgroup.org.uk/community/116579=10802-Gibraltar%20-%20LXGB.pdf>
19. GARDNER, R.M., K. ADAMS, T. COOK, et al. The ANCAT/EC global inventory of NOx emissions from aircraft. Atmospheric Environment [online]. 1997, 31(12), 1751-1766 [cit. 2020-03-07]. DOI: 10.1016/S1352-2310(96)00328-7. ISSN 13522310. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231096003287>
20. GARNIER, F., C. BAUDOIN, P. WOODS a N. LOUISNARD. Engine emission alteration in the near field of an aircraft. Atmospheric Environment [online]. 1997, 31(12), 1767-1781 [cit. 2020-03-07]. DOI: 10.1016/S1352-2310(96)00329-9. ISSN 13522310.
21. Teorie leteckých motorů - Typy leteckých motorů (LeteckeMotory.cz). Úvodní stránka (LeteckeMotory.cz) [online]. Copyright ©. Dostupné z: <http://www.leteckemotory.cz/teorie/typy-leteckych-motoru/>
22. Dvouproudový motor – Wikipedie. [online]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Dvouproudový\\_motor](https://cs.wikipedia.org/wiki/Dvouproudový_motor)
23. Dvouproudový motor. Tomáš Bureš [online]. Dostupné z: <http://tomas-bures.mzf.cz/Letecké%20technologie/Dvouproudový%20motor.html>
24. Proudový motor. Tomáš Bureš [online]. Dostupné z: <http://tomas-bures.mzf.cz/Letecké%20technologie/Proudový%20motor.html>
25. Single European Sky | Mobility and Transport. European Commission | Choose your language | Choisir une langue | Wählen Sie eine Sprache [online]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/transport/modes/air/ses\\_en](https://ec.europa.eu/transport/modes/air/ses_en)

26. J. M. Hoekstra. *Designing for Safety: The Free Flight Air Traffic Management Concept*. 2001. ISBN 90-806343-2-8
27. Ali, B. S., Schuster, W., & Ochieng, W. Y. (2016). Evaluation of the Capability of Automatic Dependent Surveillance Broadcast to Meet the Requirements of Future Airborne Surveillance Applications. *Journal of Navigation*, 70(01), 49–66. doi:10.1017/s0373463316000412
28. Eurocontrol. *ACAS GUIDE, Airborne Collision Avoidance*, edition 3.0 [online]. Dec 2017 [cit. 8.3.2020]. Dostupné z: <https://eurocontrol.int/publications/airborne-collision-avoidance-system-acas-guide>